专刊：地球大数据驱动联合国可持续发展目标实现
Big Earth Data for Implementing the Sustainable Development Goals

战略与实践
Strategy and Practice

地球大数据支持下的城市可持续发展评估：指标、数据与方法

高 峻[1,2]　张中浩[1,2]　李巍岳[1,2]　孙凤云[1,2]　胡熠娜[1,2]　王亮绪[1,2]　付 晶[1,2]　李 新[3*]　程国栋[1,2*]

1 上海师范大学 环境与地理科学院 上海 200234
2 上海师范大学 城市发展研究院 上海 200234
3 中国科学院青藏高原研究所 北京 100039

摘要　城市的可持续发展是实现联合国2030年可持续发展目标（SDGs）的关键。地球大数据对于克服城市可持续发展评估中传统统计数据的不足具有重要意义，它能够凭借宏观、动态、多样的优势为城市可持续发展评估提供新的动力。文章在系统梳理国内外城市可持续性评价指标研究与评估实践的基础上，以SDG 11（可持续城市与社区）为核心，兼顾其他SDGs中体现城市可持续发展的维度，充分挖掘地球大数据完备、实时、稳健、客观等优势，选取12个适合运用地球大数据来进行评估的指标。其中，7个直接指标从SDG 11具体标中抽取，依次为SDG 11.1、SDG 11.2、SDG 11.3、SDG 11.6、SDG 11.7、SDG 11.a、SDG 11.b等；另外5个关联指标为不包含在SDG 11中，但与城市可持续评估息息相关的代表性评价指标，分别为SDG 6.3、SDG 7.2、SDG 8.1、SDG 9c、SDG 15.1等。文章介绍这12个指标在城市可持续评估中可发挥的作用，以及评估的数据、指标与方法。最后，提出基于地球大数据进行可持续指标计算，实现了对多源信息的整合利用，将有助于实现更加定量、实时、精细的城市可持续评价。

关键词　城市可持续发展，地球大数据，可持续发展目标，指标

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20210713001

自联合国环境与发展大会1992年在巴西里约热内卢召开以来，可持续发展的概念对全球国家政策产生了重大影响[1]。在全球产业革命和技术变革蓬勃发展的新时期，需要将生态环境和社会经济发展目标充分结合起来，城市才能持续保持繁荣[2]。伴随着中国快速的全球化、城市化和工业化，城市大量消耗原材料和能

* 通信作者
资助项目：国家自然科学基金重点项目（41730642）
修改稿收到日期：2021 年 8 月 10 日

源，并带来温室效应和臭氧消耗等负面环境效应[3]。作为最大的发展中国家，中国一直致力于推动生态和低碳城市的建设。因此，理解和遵循最新的可持续发展理念对于解决中国城市发展问题尤为关键[4]。

在经济全球化的时代，城市作为人类社会中经济、文化和政治层面网络体系中的节点和中枢，不仅要关注自身系统结构和功能的协调，还应关注其在可持续发展中的带动作用及其对整体系统的影响。而针对这些复杂的关系和特征，常规统计和普查数据的空间完备性差、时间上不能实时、数据质量参差不齐，对于社会可持续性只能依靠有限的问卷调查，较为主观。这些问题导致评价结果的时空分辨率相对较低，其可靠性和及时性也常常受到质疑。国际著名的咨询和评级机构，如世界银行、凯谛思（Arcadis）公司、麦肯锡咨询公司、全球化与世界级城市研究小组（GaWC）、联合国人类住区规划署（人居署）和科尔尼管理咨询公司（A.T. Kearney）等都开发了城市可持续发展综合指数体系，但各体系在经济、社会、资源和环境等维度上各有侧重，且数据来源和标准不同，导致评估结果差异很大[5]。例如：GaWC 研发的世界城市网络指数，用银行、保险、法律、咨询管理、广告和会计 6 种“高级生产者服务业机构”在世界各大城市中的分布为指标，表明城市在全球化经济中的领先位置及参与程度，但该指数主要采用经济数据，忽略了社会、环境等方面的联系。科尔尼管理咨询公司开发了全球潜力城市指数，兼顾了以人为本的主观指标和反映经济发展现状及网络联系的客观指标；但是，该指数较多采用了社会、经济维度的数据指标，难以反映环境的可持续性，且未能与联合国的 SDG 指标紧密结合。

随着科学技术水平的不断提高，当前的数据存量呈现指数增长，数据类型不断丰富，人类已经迈入大数据时代[6]。地球大数据是指具有空间属性的地球科学领域大数据，尤其是基于空间技术生成的海量对地观测数据[7]。当前，以遥感产品和网络大数据为代表的地球大数据已经能够在城市可持续性指标计算中发挥重要的作用，推动了其研究方法的变革。在第75届联合国大会期间，中国发布了《地球大数据支撑可持续发展目标报告（2020）》。该报告通过广泛采用地球大数据开展监测和评估，可客观反映城市内各子系统的可持续状况，展现了中国利用科技创新推动落实联合国《2030 年可持续发展议程》的探索和实践，为落实和加强联合国《2030 年可持续发展议程》提供了借鉴。目前，数据稀缺、代价昂贵、质量欠佳、时空不完备的瓶颈正在被突破，软科学“硬”做，地球大数据在数据产品、技术方法、案例分析和决策支持方面为城市可持续性评价提供支撑，使可持续科学也成为可精密计算的科学。

基于此，本研究参考国内外城市可持续发展研究工作及评估实践，以可持续发展目标（SDGs）中的 SDG 11（可持续城市与社区）及其他关联 SDGs 为导向，探讨遥感产品和网络大数据等地球大数据如何助力城市可持续发展评估，以期为城市可持续发展提供科学依据。

1 SDGs 与城市可持续发展

2015 年，联合国正式通过《改变我们的世界：2030 年可持续发展议程》（以下简称《2030 年可持续发展议程》），提出了SDGs[①]。SDGs 包括了 17 项目标和 169 项具体目标，旨在从 2015 年到 2030 年以综合方式更好地解决社会、经济和环境 3 个维度的发展问题。

城市是人类文明的标志和社会经济发展的主要载体与人口中心，城市的发展决定了人类是否能成功走

① United Nations. Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. 2015.

上可持续发展道路[8]。在 17 项 SDGs 中，“可持续城市与社区”被列为第 11 项（SDG 11），旨在“建设包容、安全、有韧性的可持续城市和人类社区”。SDG 11 涵盖了城市社会、经济、环境、安全等诸多方面，能够较为完整地刻画一个城市的可持续发展水平[9]。同时，SDG 11 为 2030 年前全球城市的发展指明了方向，也为城市可持续发展评估提供了具体指标，是在统一框架下开展不同城市的评价与比较研究的重要依据[10]。

尽管 SDG 11 对城市可持续发展的认识已较为全面，但不同城市的资源环境本底、社会经济发展特征、所处发展阶段具有较大差距，所面临的发展问题也存在显著差异，在具体评估中有必要对 SDG 11 的指标进行补充与完善[9]。具体来说，SDG 11 的具体指标主要侧重于社会经济发展、城市环境维护、灾害防御和安全保障等方面，一定程度上忽略了自然资源保护、可再生能源利用、城市产业创新等对城市可持续发展同样是具有重要意义的目标。不过其他 SDGs 在这些方面有所涉及，能够为 SDG 11 提供良好补充。例如，SDG 6（清洁饮水和卫生设施）中的部分具体目标能够为城市水资源可持续评估提供依据，SDG 7（经济适用的清洁能源）能够有效补充城市中可再生能源利用的评估内容，SDG 8（体面工作和经济增长）能够在就业和经济增长方面提供补充，SDG 9（产业、创新和基础设施）能够从产业创新等方面为城市可持续发展提供具体指标，SDG 15（陆地生物）则能够从绿色空间保护等方面助力于城市可持续发展评估。因此，在城市可持续发展评估中，需要重点考虑 SDG 11 的具体目标，并基于其他 SDGs 对其进行有效补充，从而实现更加综合、全面地为城市可持续发展提供科学支撑。

2 地球大数据助力可持续发展研究

大数据革命和地球观测正在改变着城市科学的研究范式，能够克服传统数据统计口径不一、统计信息不全、难以获取等问题，可以凭借其宏观、动态、多样的优势，成为认识地球的“新钥匙”、知识发现的“新引擎”、决策支持的新手段。

区别于传统数据，大数据具有 6 个鲜明的特征：① 空间上完备。与传统统计数据相比，大数据空间分辨率大幅提高，能够捕捉到行政单元内部和区域之间的联系。② 时间上实时。能够实时获取数据，使得动态评价城市可持续性成为可能。③ 成本上廉价。多数遥感产品都是免费开放，网络大数据的获取成本也很低廉，相比传统统计数据，其成本降低几个数量级。④ 指标上稳健。与传统的社会、经济、环境可持续性指标存在着高度的相关性，是这些可持续性指标的良好代用指标。⑤ 评估上定量。数据定量化，能够对数据质量做出客观评价，甚至给出不确定性的定量估计。⑥ 结果上客观。数据样本量大，又辅之以各种先进的数据挖掘方法的支持，可提取较客观的信息。

当前，已有国内外学者尝试依托地球大数据开展可持续发展研究[11]。例如，王卷乐等[12]依托网络大数据、遥感大数据和社会经济大数据等地球大数据的集成与标准化框架，以 SDG 6 水污染事件舆情分析、SDG 15 森林信息提取、SDGs 通用和基础的人口数据空间化为例，研究了地球大数据在可持续发展评价中的技术方案。《地球大数据支撑可持续发展目标报告（2020）》也基于地球大数据针对 SDG 2（零饥饿）、SDG 6、SDG 11、SDG 13（气候行动）、SDG 14（水下生物）、SDG 15 等 6 个 SDGs，开展了 26 个典型案例研究[13]。然而，当前基于地球大数据的可持续发展研究仍然较少，难以为地球大数据支撑 SDGs 研究提供充足的理论依据。地球大数据从数据类别可分为地质数据、遥感数据、环境数据、水文数据、测绘数据、网络信息数据、社会经济数据等[14]。这些数据与 SDGs，尤其是与环境、资源等

相关的 SDGs 密切相关，可以有效助力于城市可持续发展评估（图 1）。本研究尝试系统梳理地球大数据在 SDGs 中可能的支撑作用，从而助力于 SDGs 实现。

3 基于SDGs与地球大数据的城市可持续发展评估指标

3.1 城市可持续评估指标

在系统梳理国内外城市可持续性评价指标研究与评估实践的基础上，以 SDG 11 为核心，兼顾其他 SDGs 中体现城市可持续发展的维度，充分挖掘地球大数据完备、实时、稳健、客观等优势，选取 12 个代表性指标（表 1）详细介绍地球大数据在支持城市可持续评估中可发挥的作用，以及评估的数据、指标与方法。这 12 个可用地球大数据支持的 SDGs 评估指标中包含 7 个直接指标与 5 个关联指标；其中，直接指标为直接从 SDG 11 城市可持续发展评估具体目标中抽取的指标，而关联指标为不包含在 SDG 11 中，但与城市可持续评估息息相关的代表性评价指标。

3.2 SDGs指标量化与数据支撑

3.2.1 直接指标

（1）SDG 11.1。借助机器学习算法与遥感大数据可实现对城市贫困地区的估算[15]。快速城市化正在导致人口高度集聚，住房出现不足，贫民窟/非正规住区增加。城市居住环境改善被认为是未来几十年城市可持续发展面临的主要挑战之一。贫民窟/非正规住区及人口的比例成为衡量城市可持续发展的重要指标之一[16]。但在我国没有贫民窟的概念，因此该指标需要进行本地化的解读。我国的棚户区存在大量设施简陋、环境较差、安全隐患较多的住宅，同时具有房屋容积率小、人口密度大等特点，严重制约了城市的可持续发展。借助高分遥感和城市街景数据可以获取棚户区分布并能够监测棚户区的空间变化，国内外学者生产了一系列高分辨率、长序列的数据产品，极大地丰富了数据来源[18-20]。我国的高分 2 号卫星遥感影像空间分辨率为 0.8 m，其在城市棚户区识别中也发挥了重要的作用。

（2）SDG 11.2。借助交通大数据全覆盖、动态

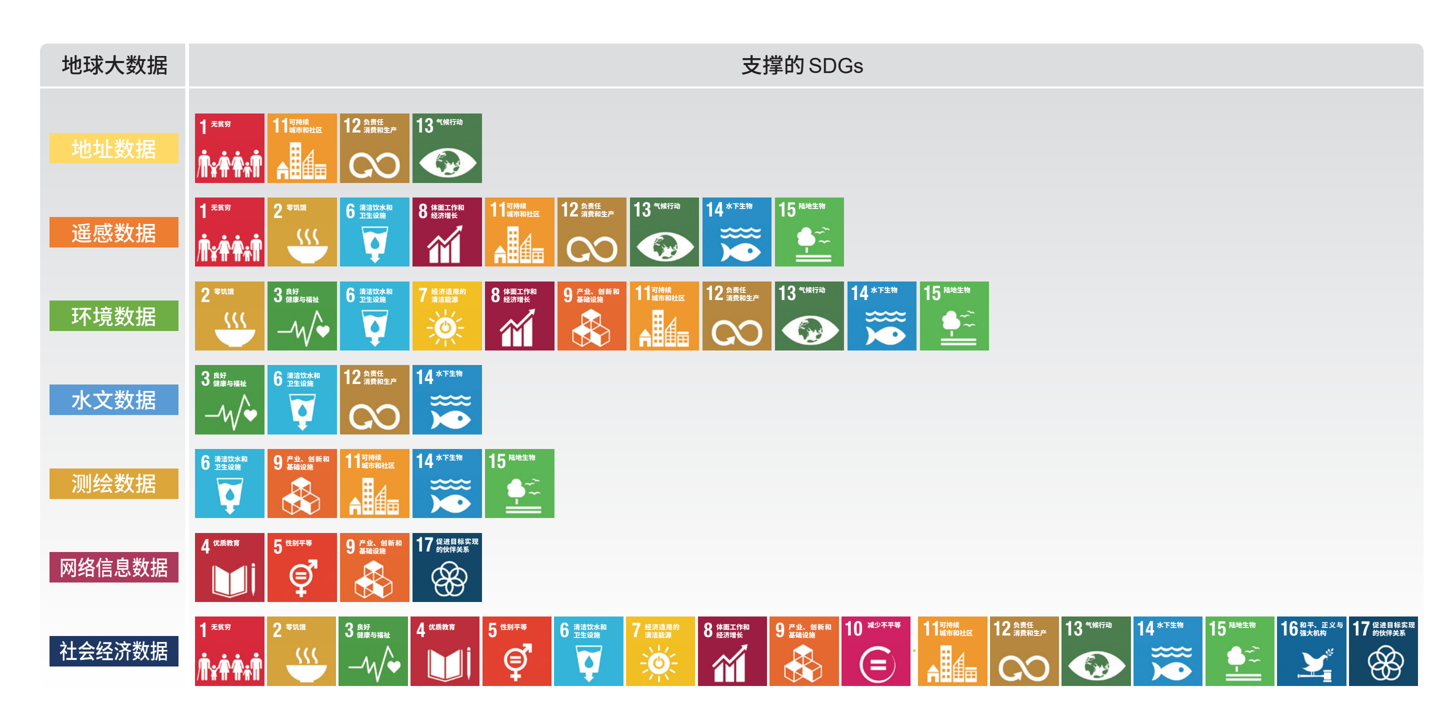


图 1　地球大数据助力于可持续发展评估

Figure 1　Big Earth Data contributes to sustainable assessment

表1　地球大数据支持下的城市可持续评估指标

Table 1　Selected urban sustainability assessment indicators supported by Big Earth Data

	SDG 指标	指标释义	细化维度	可支持大数据	代用指数	数据获取
直接指标	SDG 11.1	确保人人获得适当、安全和负担得起的住房和基本服务，并改造贫民窟	住房条件	高分2号遥感数据	贫民窟/非正规住区比例	http://www.dsac.cn/DataProduct/Detail/1013
	SDG 11.2	提供安全、负担得起的、易于利用、可持续的交通运输系统，改善道路安全，特别是扩大公共交通	交通畅达	OpenStreetMap（OSM）平台路网信息	路网密度	https://www.openstreetmap.org
	SDG 11.3	加强包容和可持续的城市建设，加强参与性、综合性、可持续的人类住区规划和管理能力	公众参与	阳光12345政务大数据	市民参与度	http://www.sh12345.gov.cn/
	SDG 11.6	减少城市的人均负面环境影响，包括特别关注空气质量，以及城市废物管理等	空气污染	中分辨率成像光谱仪（MODIS）气溶胶光学厚度（AOD）和细颗粒物（$PM_{2.5}$）反演产品	PM2.5浓度及变化率	http://ladsweb.nascom.nasa.gov
	SDG 11.7	提供安全、包容、无障碍、绿色的公共空间	城市建设	陆地卫星（Landsat）遥感影像	开放空间占建成区面积比例	https://earthexplorer.usgs.gov
	SDG 11.a	加强国家和区域发展规划，支持在城市、近郊和农村地区之间建立积极的经济、社会和环境联系	人口流动	夜间灯光数据与Landsat等遥感影像	城区人口密度变化率	https://earthexplorer.usgs.gov
	SDG 11.b	大幅增加采取和实施综合政策和计划以构建包容、资源使用效率高、减缓和适应气候变化、具有抵御灾害能力的城市和人类住区数量	城市热岛	Landsat遥感影像	区域增温敏感性指数	https://earthexplorer.usgs.gov
关联指标	SDG 6.3	改善水质：减少污染，消除倾倒废物现象，把危险化学品和材料的排放减少到最低限度，将未经处理废水比例减半，大幅增加全球废物回收和安全再利用	水体污染	多种遥感影像（Landsat 多光谱扫描仪、MODIS等）及航空高光谱数据（AVIRIS、CASI等）	叶绿素a浓度	https://earthexplorer.usgs.gov
	SDG 7.2	大幅增加可再生能源在全球能源结构中的比例	能源利用	百度、高德、谷歌等导航类电子地图开放平台兴趣点（POI）大数据	新能源充电站数目	https://open.baidu.com/#/ https://lbs.amap.com/ https://developers.google.cn/
	SDG 8.1	维持人均经济增长，特别是将最不发达国家国内生产总值年增长率至少维持在7%	经济发展	夜间灯光遥感数据：全球夜间灯光数据（DMSP-OLS）和NPP-VIIRS	夜间灯光强度	https://www.ngdc.noaa.gov
	SDG 9c	大幅提升信息和通信技术的普及度，力争到2020年在最不发达国家以低廉的价格普遍提供因特网服务	网络通信	视觉网络指数（VNI）—全球移动数据流量预测	人均移动数据流量	http://bbs.csc-china.com.cn/forum.php?mod=viewthread&tid=6064
	SDG 15.1	保护、恢复和可持续利用陆地和内陆的淡水生态系统及其服务，特别是森林、湿地、山麓和旱地	固碳能力	多源遥感数据（Landsat、MODIS等）	城市绿地固碳释氧量	https://earthexplorer.usgs.gov

实时更新的优势，对该评价指标所刻画的城市可持续发展内涵进行评估表征。基于该指标论述可提炼衍生出“交通覆盖”的评价维度，用于表征一个城市的发展程度，是城市现代化与便捷性的标志。路网密度的大小是判断居民出行便捷程度的重要标准，是评价城市服务发展水平的重要参考[20]。因此，可选用“路

网密度指数”对城市交通覆盖情况进行量化。路网密度可利用城市道路长度的累积值与城市用地总面积的比值进行计算。其中，路网长度可从 OpenStreetMap（OSM）大数据平台批量免费获取。该平台于2004年创办，是公众参与建设的地理信息平台，由全球注册志愿者采集上传，免费向用户提供使用[21]。

（3）SDG 11.3。政务网站作为政府实施政民互动的平台，成为市民参与城市治理的一种新模式，其参与程度彰显着一个城市的基层治理能力，是评价一个城市可持续性的重要参考指标。可基于各地阳光12345政务网站数据，使用市民对城市治理问题的咨询、意见、建议及态度等诸多信息，采用基于深度学习的自然语言处理技术对该信息进行挖掘处理后可构建SDG 11.3指标[22]。

（4）SDG 11.6。基于遥感大数据计算的“细颗粒物（$PM_{2.5}$）浓度及变化率”是评价空气污染程度重要的常用指数，可用于反映城市对SDG 11.6指标的完成情况。由于$PM_{2.5}$具有覆盖面积大、在大气中不易扩散、活性强且易携带有毒有害物质等特点，与其他雾霾污染物成分相比，$PM_{2.5}$具有显著代表性[23]。目前，对$PM_{2.5}$反演使用最广泛的数据是中分辨率成像光谱仪（MODIS）气溶胶光学厚度（AOD）产品。由于MODIS气溶胶产品采用了层级数据格式对数据进行存储，可以很方便地利用IDL处理语言对$PM_{2.5}$浓度进行批处理。MODIS AOD产品具有较高的时空分辨率，且数据可公开免费获取。

（5）SDG 11.7。该指标重点强调城市公共空间的建设情况。城市公共空间是城市管理的重要组成部分，是创建城市良好人居环境的重要条件，可选取基于遥感大数据计算的“开放空间面积占建成区面积比例”这一指数来反映城市公共空间建设强度。开放空间是指城市中服务社会融合与城市健康可持续的具有较高生态和社会价值的非/少建筑的空间，如绿地、水域和广场等。开放空间面积与建成区面积可借助美国国家航空航天局陆地卫星（Landsat）遥感数据分别进行遥感解译提取，基于提取结果求取面积比值即为开放空间面积占建成区面积的比例值。Landsat遥感影像可由USGS官方网站免费获取。

（6）SDG 11.a。人口流动可反映城市活力与城市能动性，对城市发展起着非常重要的作用。准确即时地获取城市人口密度在灾害风险评估、生态环境保护等领域具有重要用途，然而传统统计数据难以满足实时动态获取人口密度的需求[24]。可用城区人口密度变化率对人口流动进行衡量，人口密度可由不透水地表面积与夜间灯光数据联合求取。不透水地表面积可借助Landsat遥感数据进行计算。

（7）SDG 11.b。对城市而言，城市热岛效应是其热环境恶化的重要气候变化现象，因此有效地评估城市热环境变化敏感性特征在灾害风险评估、生态环境保护等领域具有重要作用[25]。基于遥感大数据提取的“区域增温敏感性指数”旨在刻画城市对地表温度升高、极端热环境变化的反应程度，可用于评估城市适应气候变化、抵御灾害的能力。该指数利用内嵌的区域整体增温敏感性、区域梯度增温敏感性、区域覆盖增温敏感性3个层次对城市热环境变化灵敏度与适应度进行多维深入刻画，可利用多源遥感大数据（如Landsat、MODIS遥感影像）对其进行敏感性测算[26]。

3.2.2 关联指标

（1）SDG 6.3。该指标表述的水体污染程度可选取基于遥感大数据提取的叶绿素a浓度进行有效表征。叶绿素a浓度是重要的水质参数之一，影响水体光谱特征，可用于表征水体富营养化程度。遥感数据监测范围广、速度快、成本低、便于长期动态监测，可在水体叶绿素a浓度监测方面发挥重要作用[27]。多种遥感影像（如Landsat多光谱扫描仪、MODIS），以及航空高光谱数据（如AVIRIS、CASI）可用于叶绿素a浓度的遥感反演。选取何种波段计算叶绿素a浓

度依赖于其浓度范围，需要针对不同遥感数据的特点，有针对性地确定叶绿素a浓度反演模型。

（2）SDG 7.2。新能源充电站数量可反映城市新能源汽车的使用情况，表征城市新能源利用情况。新能源充电站数量可从POI大数据中获取。POI大数据是一类重要的地球大数据，具有数据量大、覆盖面广、包含信息多样、蕴含价值高、数据容易获取等特点[28]。可利用Python爬虫程序经由百度、高德、谷歌等导航类电子地图开放平台的电子地图位置服务API接口，对新能源充电站的坐标、名称、地址等特征信息进行采集。

（3）SDG 8.1。该指标提及的经济发展维度可通过夜间灯光强度指数进行表征。夜间灯光强度是从夜间灯光遥感数据提取的遥感指数，与国内生产总值（GDP）具有较强的相关性，可反映城市经济的发展程度[29]。当前，最广泛使用的夜间灯光遥感数据主要为DMSP-OLS和NPP-VIIRS。夜间灯光强度值可从夜间灯光数据直接获取，由美国国防气象卫星计划（DMSP）和美国国家极轨业务环境卫星系统（NPP）所搭载的传感器探测得到，广泛用于多尺度长时序的城市相关问题研究。DMSP-OLS和NPP-VIIRS数据可由美国国家海洋和大气管理局（NOAA）国家地球物理数据中心网站下载。此外，武汉大学研发的“珞珈一号”卫星，因其分辨率高、公开性强、反演精度高，也获得了广泛的应用[30]。

（4）SDG 9c。网络通信是衡量当今网络化大数据时代中信息通讯发展的重要方面，可选用“人均移动数据流量”指数对其进行表征。移动数据业务用户数目激增与智能移动终端应用程序的快速普及推动了移动数据流量的大幅增长[31]。人均移动数据流量反映城市无线网络的资源管控、基站部署、协作传输等方面的管理能力。人均移动数据流可通过思科系统公司《视觉网络指数（VNI）——全球移动数据流量预测》获取。

（5）SDG 15.1。城市绿地具有重要的固碳释氧能力，可选用“城市绿地固碳释氧量”对城市绿地作为碳汇的生态系统服务功能进行表征。植物不仅可以通过光合作用和生长机制吸收和固定二氧化碳（CO_2），也可以通过树荫和蒸发的降温功效减少化石燃料的CO_2排放。植物的固碳释氧能力对改善城市空气质量，实现城市生态系统可持续发展具有重要作用[32]。城市绿地固碳释氧量可基于城市绿地的面积，结合光合作用和呼吸作用方程式进行计算。其中，城市绿地面积可借助多源遥感影像（如Landsat、MODIS、哨兵系列卫星）进行地表覆被的反演。

4 结语

对城市可持续性清晰、定量的评价和认识是确定一个城市是否正在向可持续发展迈进的关键一环。地球大数据突破了传统数据源稀缺、代价昂贵、质量欠佳、时空不完备的瓶颈，提升了城市可持续评价的质量。可持续发展评估作为重要的规划概念方法，需要不断融合地理学、生态学、管理学的思想，开发定量、精确的评估方法、技术和工具。针对城市的可持续评价结果需要加入发展状况和解决方案的视角，对不同SDG指标之间的权衡与协同效应进行分析。对基于地球大数据与SDGs的可持续评估进行探讨，可为城市可持续发展评估实践提供数据、指标和方法层面的借鉴与思考，为促进联合国SDGs实现发挥作用。

参考文献

1 Huang S L, Wong J H, Chen T C. A framework of indicator system for measuring Taipei’s urban sustainability. Landscape and Urban Planning, 1998, 42(1): 15-27.

2 Yigitcanlar T, Dur F, Dizdaroglu D. Towards prosperous sustainable cities: A multiscalar urban sustainability assessment approach. Habitat International, 2015, 45: 36-46.

3 Kaur H, Garg P. Urban sustainability assessment tools: A re-

view. Journal of Cleaner Production, 2019, 210: 146-158.

4 Ameen R, Mourshed M. Urban sustainability assessment framework development: The ranking and weighting of sustainability indicators using analytic hierarchy process. Sustainable Cities and Society, 2019, 44: 356-366.

5 Michael F L, Noor Z Z, Figueroa M J. Review of urban sustainability indicators assessment — Case study between Asian countries. Habitat International, 2014, 44: 491-500.

6 周成虎, 王华, 王成善, 等. 大数据时代的地学知识图谱研究展望. 中国科学：地球科学, 2021, 51, doi: 10.1360/SSTe-2020-0337.

7 Guo H D, Wang L, Liang D, et al. Big Earth Data from space: A new engine for Earth science. Science Bulletin, 2016, 61(7): 505-513.

8 张盛, 吕永龙, 苑晶晶, 等. 持续城镇化对中国推进实施联合国可持续发展目标的作用. 生态学报, 2019, 39(4): 1135-1143.

9 王鹏龙, 高峰, 黄春林, 等. 面向SDGs的城市可持续发展评价指标体系进展研究. 遥感技术与应用, 2018, 33(5): 784-792.

10 宋晓谕, 高峻, 李新, 等. 遥感与网络数据支撑的城市可持续性评价：进展与前瞻. 地球科学进展, 2018, 33(10): 1075-1083.

11 肖禾, 王馨怡, 陈甲全, 等. 联合国可持续发展目标监测的数据供应需求探讨. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(7): 6-9.

12 王卷乐, 程凯, 边玲玲, 等. 面向SDGs和美丽中国评价的地球大数据集成框架与关键技术. 遥感技术与应用, 2018, 33(5): 3-11.

13 中国科学院地球大数据科学工程. 地球大数据支撑可持续发展目标报告（2020）. (2020-09-01)[2021-08-09]. https://www.fmprc.gov.cn/web/ziliao_674904/zt_674979/dnzt_674981/qtzt/2030kcxfzyc_686343/P020200927634068540177.pdf.

14 董少春, 齐浩, 胡欢. 地球科学大数据的现状与发展. 科学技术与工程, 2019, 19(20): 1-11.

15 Jean N, Burke M, Xie M, et al. Combining satellite imagery and machine learning to predict poverty. Science, 2016, 353: 790-794.

16 Simon D, Arfvidsson H, Anand G, et al. Developing and testing the Urban Sustainable Development Goal’s targets and indicators—A five-city study. Environment and Urbanization, 2016, 28(1): 49-63.

17 Gong P, Liu H, Zhang M, et al. Stable classification with limited sample: Transferring a 30-m resolution sample set collected in 2015 to mapping 10-m resolution global land cover in 2017. Science Bulletin, 2019, 64(3): 370-373.

18 Liu X, Hu G, Chen Y, et al. High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using Landsat images based on the Google Earth Engine Platform. Remote Sensing of Environment, 2018, 209: 227-239.

19 Kuang W, Zhang S, Li X, et al. A 30 m resolution dataset of China’s urban impervious surface area and green space, 2000–2018. Earth System Science Data, 2021, 13(1): 63-82.

20 孟庆伟. 城市公共交通覆盖度空间统计分析研究. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(3): 141-145.

21 张一帆, 景海涛. OpenStreetMap数据质量评估及适用性分析——以河南省铁路网为例. 地理信息世界, 2019, 26(4): 112-116.

22 沈安南, 王亮绪, 高峻. 基于深度学习的公民参与城市治理的时空格局研究——以苏州市为例. 地理信息世界, 2020, 27(2): 44-48.

23 伍亿真, 施开放, 余柏蒗, 等. 利用NPP-VIIRS夜间灯光遥感数据分析城市蔓延对雾霾污染的影响. 武汉大学学报（信息科学版）, 2021, 46(5): 777-789.

24 王娇娇, 李中元. 基于Landsat OLI影像及NPP-VIIRS灯光数据的武汉市人口密度估算. 地域研究与开发, 2019, 38(6): 146-151.

25 Sun F, Zhao H, Deng L, et al. Characterizing the warming effect of increasing temperatures on land surface: Temperature change, heat pattern dynamics and thermal sensitivity. Sustainable Cities and Society, 2021, 70(1): 102904.

26 孙凤云, 邓灵稚, 刘垚燚, 等. 基于增强回归树与区域增温敏感性指数的城市升温效应空间分异研究. 生态学报, 2021, 41(15): 1-11

27 疏小舟, 尹球, 匡定波. 内陆水体藻类叶绿素浓度与反射光谱特征的关系. 遥感学报, 2000, 4(1): 41-45.

28 薛冰, 李京忠, 肖骁, 等. 基于兴趣点（POI）大数据的人地关系研究综述：理论、方法与应用. 地理与地理信息科学, 2019, 35(6): 51-60.

29 余柏蒗, 王丛笑, 宫文康, 等. 夜间灯光遥感与城市问题研究：数据、方法、应用和展望. 遥感学报, 2021, 25(1): 342-364.

30 Huang X, Yang J, Li J, et al. Urban functional zone mapping by integrating high spatial resolution nighttime light and daytime multi-view imagery. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2021, 175: 403-415.

31 张平, 崔琪楣, 侯延昭, 等. 移动大数据时代：无线网络的挑战与机遇. 科学通报, 2015, 60: 433-438.

32 Bian J, Li A, Lei G, et al. Global high-resolution mountain green cover index mapping based on Landsat images and Google Earth Engine. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2020, 162: 63-76.

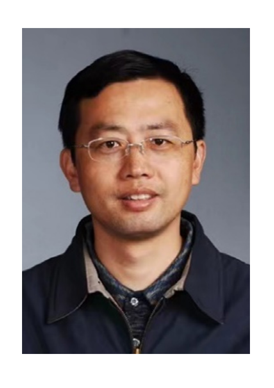
Urban Sustainable Development Evaluation with Big Earth Data: Data, Indicators, and Methods

GAO Jun[1,2] ZHANG Zhonghao[1,2] LI Weiyue[1,2] SUN Fengyun[1,2] HU Yina[1,2]
WANG Liangxu[1,2] FU Jing[1,2] LI Xin[3*] CHENG Guodong[1,2*]
（1 School of Environmental and Geographical Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China;
2 Institute of Urban Studies, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China;
3 Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China）

Abstract The sustainable development of cities is the key to achieving the United Nations 2030 Sustainable Development Goals (SDGs). There have been numbers of studies on urban sustainable development assessment, but the existing indicators are usually based on traditional statistical data, which makes urban sustainable development assessment limited in global city assessment and comparison. Big Earth Data can overcome the problems of traditional data statistics such as inconsistent statistical caliber, incomplete statistical information, and difficulty in obtaining data. With its macroscopic, dynamic, and diverse advantages, it can provide new assistance for urban sustainable development assessment. Based on the research on sustainable development of cities worldwide, this study sorts out the SDG 11 and other goals related to urban sustainability, and discusses the possibility of Big Earth Data, such as remote sensing data and the Internet big data, in the urban sustainable development evaluation. This study hopes to provide a scientific reference for the sustainable development of cities. The sustainability indicators using the Big Earth Data has realized the integration and utilization of multi-source information, which will help to achieve more quantitative, real-time, and detailed evaluation for urban sustainability.

Keywords urban sustainability, Big Earth Data, Sustainable Development Goals (SDGs), indicators

*Corresponding author



高 峻　上海师范大学环境与地理科学学院院长、教授，长三角城市湿地生态系统国家野外科学观测站站长。主要从事城市生态与可持续发展研究。E-mail: gaojun@shnu.edu.cn

GAO Jun　Dean, Professor and Doctoral Supervisor of School of Environmental and Geographical Sciences, Shanghai Normal University. He is currently serving as the Director of Yangtze River Delta Urban Wetland Ecosystem National Field Observation and Research Station. His research focuses on urban ecology and sustainable development. E-mail: gaojun@shnu.edu.cn



李 新　中国科学院青藏高原研究所研究员，国家青藏高原科学数据中心主任。国家杰出青年科学基金获得者。主要从事流域集成、陆面数据同化、冰冻圈遥感与信息系统方面的研究。E-mail: xinli@itpcas.ac.cn

LI Xin　Professor at the Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences (CAS), and Director of National Tibetan Plateau/Third Pole Environment Data Center. He is a recipient of the National Science Fund for Distinguished Young Scholars. His research focuses on watershed integration, land surface data assimilation, cryosphere remote sensing and information system. E-mail: xinli@itpcas.ac.cn



程国栋　中国科学院院士。中国科学院西北生态环境资源研究院研究员，上海师范大学环境与地理科学学院名誉院长。主要研究方向为冻土与寒区工程、寒旱区人地系统机理与区域可持续发展、寒旱区水资源环境与生态经济、寒区遥感与地理信息系统应用。E-mail: gdcheng@lzb.ac.cn

CHENG Guodong　Academician of Chinese Academy of Sciences (CAS), Professor at Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences (CAS), and Honorary Dean of School of Environmental and Geographical Sciences, Shanghai Normal University. His main research focuses on the frozen soil and cold area engineering, human-land system mechanism and regional sustainable development in cold and arid regions, water resources environment and ecological economy in cold and arid regions, and remote sensing and geographic information system applications in cold area. E-mail: gdcheng@lzb.ac.cn

■责任编辑：张帆